

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-22396

(43)公開日 平成6年(1994)1月28日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 R 17/00	3 3 0 Y	7406-5H		
H 0 1 L 41/08				
H 0 4 R 1/44	3 3 0 D	7406-5H		
// H 0 1 B 7/10		7244-5G		
		9274-4M		
			H 0 1 L 41/ 08	H
			審査請求 未請求 請求項の数6(全 9 頁)	

(21)出願番号 特願平4-198932

(22)出願日 平成4年(1992)7月3日

(71)出願人 390014306

防衛庁技術研究本部長  
東京都世田谷区池尻1丁目2番24号

(71)出願人 000001100

呉羽化学工業株式会社  
東京都中央区日本橋堀留町1丁目9番11号

(72)発明者 兵藤 孝義

神奈川県横須賀市鴨居2-57-6

(72)発明者 村上 訓通

神奈川県横浜市長沢区並木2-6-8-102

(74)代理人 弁理士 猿渡 章雄 (外1名)

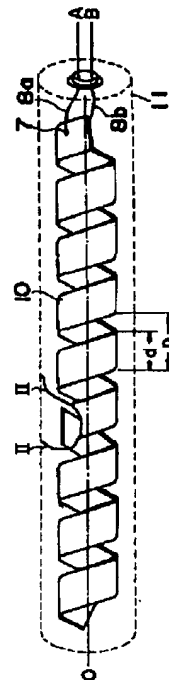
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 圧電素子及びそれを用いたハイドロフォン

(57)【要約】

【目的】 概ね円筒形であり、可撓性、耐衝撃性に優れた、音波の送受信に適したポリマー圧電素子および該ポリマー圧電素子を用いて変形雑音を低減し、良好な受波感度と可撓性を維持したハイドロフォンを与える。

【構成】 帯状ポリマー圧電体1の両面に互いに対向する電極層2a、2bを設けてなる可撓性の帯状圧電素子10を、ある中央軸Oのまわりに螺旋状に捲回し、全体として円筒に近似した配置構造とする。対向電極層は、帯状圧電体の長さ方向に離間して複数対設けてもよい。ハイドロフォン形成のために好ましくは帯状ポリマー圧電体を一対用い、互いの分極方向が逆となる様に中央金属層を介して積層する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 表面に電極層を対向して設けた帯状のポリマー圧電体がある中心軸のまわりに螺旋形状に捲回し、前記表面電極層を前記中心軸の延長方向とほぼ平行に配設した構造を有する圧電素子。

【請求項2】 前記表面電極層がポリマー圧電体の延長方向において離間して複数対設けられた請求項1に記載の圧電素子。

【請求項3】 前記ポリマー圧電体が中央電極層を間に挟んで積層された一対のポリマー圧電体である請求項1または2に記載の圧電素子。

【請求項4】 前記表面電極層の外表面を絶縁被覆してなる請求項1〜3のいずれかに記載の圧電素子。

【請求項5】 一対の帯状ポリマー圧電体を互いの分極方向が逆となるように中央電極層を間に挟んで積層して得られる帯状圧電素子を、螺旋状に巻回し配置し、前記帯状圧電素子の両表面に形成された表面電極と前記中央電極層との間に生ずる電気出力を取出可能とした構造を有する可撓性に優れたハイドロフォン。

【請求項6】 前記螺旋状に巻回し配置した帯状圧電素子をエラストマー被覆体中に埋め込み、全体として円筒棒状とした請求項5に記載のハイドロフォン。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、可撓性の帯状ポリマー圧電体がある中心軸のまわりに螺旋形状に捲回し、円筒様構造とした圧電素子、ならびに該圧電素子を用いた、特にえい航型ソーナーとしての適用性に優れた可撓性を有するハイドロフォンに関する。

## 【0002】

【従来の技術】円筒形状の圧電素子の一例として、えい航型ソーナーが知られている（特開昭55-76962号、同57-60992号、特開平2-278178号各公報等）。これは、主として船舶の発する機関音、スクリュー音、キャビテーション音等を受信すべく、ハイドロフォン受波器を所定の間隔で直線状に多数配置して発信音波の周波数帯域に適合したハイドロフォンリニアアレイとなし、各受波器の出力位相を整相処理して目標とする船舶を探知せんとするものであり、通常はこのハイドロフォンリニアアレイを電線を配置したロープ等を介して、船舶によりえい航する形態を採る。

【0003】従来、このようなえい航型ソーナーに用いられる音波検出素子としては、中空円筒状に成形されたセラミック圧電素子、例えばPZT圧電素子が用いられていた。

【0004】この種の中空円筒状圧電素子は、それを音波の送波器とした場合、音波が周波数によらず半径方向に等方的に、即ち等しい音圧で放射されるものであり、他方、受波器としては素子を長さ方向の中心軸の周りに回転しても受信感度が不変のものである。換言すれば、

半径方向の送受波感度に指向性のないという特徴がある。

【0005】一方、超音波加工の分野ではチタン酸バリウム磁気等の電歪素子が、大きな変位を得るために円筒状の形態で利用されていた。また、米国特許第2497108号明細書には、セラミック圧電体の中空円筒から切り出して螺旋状に形成したバイモルフを利用した継電器が開示されている。

## 【0006】

【発明が解決すべき課題】上述した従来の円筒のセラミック圧電素子は、音波の送受波器としては音波の周波数によらず等方的感度特性が達成され、また電歪素子においては大きな変位が得られるといった利点を有しているが、以下のような問題点を包含する。

(1) 剛性がある反面、衝撃に弱く、取り扱いが面倒である。例えば、柔軟性に乏しいため、長尺な素子においては保管が容易ではない。

(2) 大口径及び長尺なものの製作が容易ではない。

(3) 前記ハイドロフォンリニアアレイのように、受波器を直線状に多数配置した構造においては、接合部があるため曲げ、強度等の機械的特性や比重が不均一であり、例えば、えい航ロープを介して伝達されるえい航体の動揺による衝撃や水流による曲げ応力等により破損し易く、特性が低下することもある。

【0007】また、ハイドロフォンリニアアレイを、ロープとともに巻出しあるいは巻上げるに際しての操作性が著しく悪いという問題点もある。

【0008】前記した中空円筒形状のセラミック圧電素子の問題点、特にセラミックの剛性に起因する問題点を、柔軟性に優るポリマー圧電素子により解決することも考えられる。しかしながら、ポリマー圧電体は、その上に電極を形成することの困難さのため繋ぎ目のない円筒形状の圧電素子とすることは容易でなく、また、ポリマー圧電体といえども円筒形状では柔軟性はそれ程向上しない。一方、セラミックス製の中空円筒から切り出された従来の螺旋素子は、特に大口径及び長尺なものの製作が容易ではないことに加えて、衝撃に脆弱脆弱であるという欠点を有し、柔軟性においてもポリマー圧電体に比べ数段劣るものである。

【0009】本発明は、上述した従来の中空円筒形状のセラミック圧電素子の問題点について改善した圧電素子、ならびにそれを用いた可撓性を有するハイドロフォンを提供することを目的とする。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者等の研究によれば、可撓性の帯状圧電素子を螺旋状に捲回し、概ね円筒に近い形状とすることにより、感度の等方性を保持しつつ、上述した中空円筒形状のセラミック圧電素子の問題点に対する著しい改善が得られることが見出された。

【0011】即ち、本発明は、表面に電極層を対向して

設けた可撓性の帯状ポリマー圧電体のある中心軸のまわりに螺旋形状に巻回し、前記表面電極層を前記中心軸の延長方向とほぼ平行に配設した構造を有する圧電素子を提供するものである。

【0012】また本発明は、一対の帯状ポリマー圧電体を互いの分極方向が逆となるように中央電極層を間に挟んで積層して得られる帯状圧電素子を、螺旋状に巻回し配置し、前記帯状圧電素子の両表面に形成された表面電極と前記中央電極層との間に生ずる電気出力を取出可能とした構造を有するハイドロフォンを提供するものである。

【0013】

【作用】上述したように、本発明の圧電素子は、帯状圧電素子の巻回しにより、概ね円筒に近い形状に構成され、そのため、良好な等方的感度特性を有することに加えて、上述中空円筒形状のセラミック圧電素子について主要な問題点であった可撓性および耐衝撃性の不足に対し、著しい改善が得られる。

【0014】またポリマー圧電素子を構成する圧電体において出力に結び付く変形は面方向の伸縮（二軸）、厚み変化（一軸）ならびに体積圧縮／膨張変化がある。このうち、えい航型ソーナー等に加えられる機械的応力により発生し、雑音のもととなるのは面方向の伸縮変形であり、本発明のハイドロフォンにおいては、このような面方向の伸縮による雑音は、一対のポリマー圧電体を互いの分極方向が逆となるように中央電極層を介して積層して得られる帯状圧電素子の使用により、有効に相殺され、実質的に有害な雑音とならない。他方、このような帯状圧電素子を螺旋状に巻回し配置した円筒様の構造とすることにより、全体としての可撓性を損なわず、被測定対象からの音波の音圧は、ポリマー圧電体の厚み方向の変形或いは体積的圧縮／膨張変化として有効に検出される。

【0015】

【実施態様】以下、本発明の圧電素子およびハイドロフォンを、その好ましい態様について図面を参照しつつ、更に詳細に説明する。

【0016】図1は、えい航型ソーナーの受波器（ハイドロフォン）として構成された本発明の一実施態様にかかる螺旋状圧電素子の一部切欠き正面図であり、図2は図1の切欠面II-IIに沿って取った圧電素子の厚さ方向断面である。

【0017】図1および図2を参照して、この螺旋状圧電素子を構成する帯状圧電素子10は、可撓性を有する帯状圧電体1の両面に表面電極2aおよび2bを形成してなる。本発明にかかる螺旋状圧電素子は、この帯状圧電素子10を、ある中心軸Oの周りに螺旋状に巻回した形状を有する。そして表面電極2a、2bからは、半田7付けにより、それぞれリード線8a、8bが接続され、音波の受信の際にはこれら表面電極間に生ずる電気

出力が螺旋状圧電素子の右端に設けられた端子A B間で取出せるように、また音波の発信等の際には端子A、Bから圧電体1に電圧を印加できるように構成されている。

【0018】帯状圧電素子10の幅（d）および螺旋ピッチ（p）は、圧電素子に要求される特性によって適宜選択されるが、一般に幅2～50mm程度、好ましくは5～20mmであり、 $1 < p/d \leq 3$ の範囲とすることが好ましい。幅が2mm未満では螺旋巻回時に切断が発生し易く、また50mmを超えると螺旋形状に賦形することが困難になる。また、 $p/d \leq 1$ では、帯状圧電素子10が部分的に重なったり、あるいは表面電極2a相互あるいは2a-2b間での接触により電氣的ノイズが生じかねない。他方 $p/d > 3$ であると素子の面積効率が低下する。螺旋状圧電素子を構成する螺旋の巻き数は、前記の等方的感度特性が確保されるように、1以上、特に3以上とすることが好ましい。

【0019】各部の材質について説明すると、螺旋状圧電素子全体として良好な可撓性を与え、あるいは長尺の螺旋状圧電素子を形成するために、本発明の可撓性圧電体1はポリマー圧電体により構成する。このようなポリマー圧電体1は、表面電極2a、2bを有する帯状体とした後、巻き回しにより図1に示すような螺旋形状に容易に賦形することができる。

【0020】ポリマー圧電体1は、一般に知られているポリマー圧電材料から任意に構成されるが、フッ化ビニリデン（VDF）の単独または共重合体等からなるVDF系圧電体、あるいは比較的高い耐熱性を有するシアニ化ビニリデン-酢酸ビニル共重合体等が好適に用いられる。これらポリマー圧電体材料は、溶融押出等により製膜後、必要に応じて一軸延伸あるいは軟化温度以下での熱処理、軟化温度以下での電界印加による分極処理に付される。なお、ポリマー圧電体1は、一般にフィルム又はシートの形態をとることができ、その厚みは20～2000μm程度、特に100～1000μmの範囲で選択されることが好ましい。ポリマー圧電体の厚みが20μm以下では十分な受波感度が得られず、逆に2000μm以上ではフィルムの可撓性が損なわれ、更に分極に高電圧が必要となるため縁面放電が発生し分極が極めて困難となる。

【0021】表面電極2a、2bは、螺旋状圧電素子全体の可撓性を損なうことなく、圧電体1表面に、銀、銅、アルミニウム、亜鉛等の導電材料の蒸着、溶射、メッキ（特に無電解メッキ）、金属箔の接着貼り付け等により0.02μm～200μmの厚さ範囲に形成することができる。中でもポリマー圧電体との組合せにおいて、良好な可撓性を維持しつつ良好な半田付性と優れた送受波感度を与えるためには、対向電極2a、2bは、厚さが10～100μm、特に20～50μmの溶射電極層として形成することが好ましい。

5

【0022】本発明の螺旋状圧電素子の電極2a、2bの表面には、絶縁被覆を施すのが好ましい。この絶縁被覆は、図2に対応して図3に示すように、電極2a、2bを選択的に覆う絶縁被覆層5a、5bとして形成することもできるが、より好ましくは、図1に示すように螺旋状圧電素子全体を絶縁体11中に埋め込んで中実（または中空）の円筒状に形成して、素子の堅牢性および取扱性を併せて向上するのがよい。かかる絶縁被覆層5a、5bあるいは11は、プラスチック、セラミック、エラストマー等から使用状況に応じて選択できる。中でも絶縁体11に関しては、堅牢性に加えて、螺旋状圧電素子全体としての可撓性を維持するために、ウレタンゴム、シリコンゴム、ブチルゴム等のエラストマーを用いることが好ましい。

【0023】埋設被覆体11の外形形状は、円柱（筒）状に限らず、感度に方向性が生じない範囲で他の形状であっても良く、例えば、埋設被覆体を楕円柱（筒）状となし、曲げ応力に方向性を与えることも可能である。また、埋設被覆体の中心部には、電線類以外に、必要に応じてプリアンプなどの電気部品や強度部材、充填材といったものを埋設したり、空洞を形成してそれらを配設することもできる。

【0024】表面電極2a、2bは、長尺な帯状圧電体1の全面にわたって設ける必要はない。例えば、図1に対応して図4に示すように、帯状圧電体1の長さ方向に沿って表面電極2a（および2b—図示省略）を離間して設け中間の空白部においては、圧電体1を露出させた構造とすることもできる。その結果、機能的には、表面電極2a（2b）の存在する領域ごとに、螺旋状の二つの圧電素子10aおよび10bが形成されたことになる。これら素子10a、10bのうち、10aの表裏面電極2a、2bは、それぞれ半田7により接続されたリード線81a、81bを介して端子A1、B1に接続され、両電極間に生ずる電気的出力が端子A1-B1間で取り出される。他方、素子10bの表裏面電極2a、2bは、それぞれ半田付されたリード線82a、82bを介して端子A2、B2に接続され、素子10bに生ずる出力は端子A2-B2間で取り出される。リード線81、82は、図示のように螺旋状圧電素子の中心軸に近い部分（螺旋の内側）に通すことが好ましい。このような構成のハイドロフォンは、2つに限らず、より多数のユニット素子が機能的には独立していて構造的には直線的に連結されたハイドロフォンリニアアレイとなり、広い周波数帯域の音波に対する適合性が確保される。また、これら連結素子は一体成形されているので、曲げ、強度等の機械的特性や比重が均一であるという特徴を有し、また機能的には複数でも、構造取扱上は、一つの素子と同等に取扱える利点がある。この連結素子は、各圧電素子が機能的には独立しているため、異なる周波数で送受信することができると共に、一方を送信器、他方を

6

受信器として用いることもできる。

【0025】次に、本発明の他の好ましい一実施態様について説明する。

【0026】図5は、本発明のハイドロフォンの一実施態様の一部切欠き正面図であり、図6は図5の切欠面V-I-VIに沿って取った圧電素子の厚さ方向模式断面図である。これら図面において、図1～図4に示したものと類似の部位は、同様な符号で示す。

【0027】図5および図6を参照して、このハイドロフォンを構成する帯状圧電素子50は、一対の帯状ポリマー圧電体1aおよび1bを、それぞれの極端方向pが互いに逆となるように配置し、接着剤層4a、4bを介して中央電極層3に貼付してなる。また、これらポリマー圧電体1a、1bは、その中央電極層3との逆側の面に、それぞれ表面電極2a、2bを有する。

【0028】本発明のハイドロフォンは、このような帯状圧電素子50を、図5に示すようにある中心軸Oのまわりに螺旋状に巻回し配置し、その両面の表面電極2aおよび2bからの出力（出力端子A、C）を短絡させ、中央電極層3からの出力（出力端子B）との間での電圧出力を検出手段5により取出可能とした構成を有する。

【0029】上述したような面方向の伸縮応力による雑音を防止し、音波の良好な検出特性ならびに全体としての優れた可撓性を確保するためには、帯状圧電素子は、中心に位置する中央電極層3を中立軸として応力変形が上下対称となる層構成とされ、例示すれば、中央電極層3を帯状圧電素子全体の剛性を支配するような金属箔電極となし、可撓性のある蒸着電極または特に金属溶射電極で表面電極2aおよび2bを形成することが好ましい。

【0030】この第二実施例において、中央電極層3は、前述したようにポリマー圧電体1a、1bおよび表面電極2a、2bと比較して剛性の大な、例えば、銅、アルミニウム、錫、亜鉛、金、銀、白金等の厚さが6～200μm程度、特に20～120μmの金属箔により形成することが好ましい。しかし、前述したように中央電極層3が中立点となり、上下のポリマー圧電体が曲げ応力に対して対称に変形されるような層構成が好ましく採用されるが、その限りにおいて、中央電極層3として上記の金属箔以外のものも用いられる。

【0031】接着剤層4a、4bは、導電性粒子を分散させた導電性の接着剤により形成することもできるが、より接着強度の優れたエポキシ系樹脂、ウレタン系樹脂、ポリエステル系樹脂、ブタジエン系樹脂、アクリル系樹脂等の接着剤により5～40μm程度の層とした時にも、出力特性は良好に維持される。

【0032】本実施例において圧電素子50の表面電極2a、2bは、銀、銅、アルミニウム、亜鉛等からなる厚さが10～100μm、好ましくは20～50μmの溶射電極あるいは0.02～0.1μm程度の蒸着電極

となし、良好な可撓性を維持することが好ましい。この構成により、中央電極層3として比較的剛性の高い金属箔電極を用いた場合にも、帯状圧電素子50全体としては良好な可撓性が維持され、図5に示すような螺旋状巻回し構造が可能となる。そして、図5に示す螺旋状巻回し構造と相まって、全体として良好な可撓性を有する円筒形状の圧電素子50が得られる。この素子は、半径方向に関して可撓性に有意な差はなく、ソーナーの展開や収納時の操作性に優れたものとなる。

【0033】また、本実施例のように積層したポリマー圧電体を用いる場合にも、表面電極2a、2bは、長尺な帯状圧電素子50の全面にわたって設けられる必要はなく、図4の例で説明したように圧電素子50の長さ方向に所定の間隔の電極空白部をもって不連続に形成することもできる。かかる帯状圧電素子50を螺旋形状に巻回して形成されたハイドロフォンは、機能的に図5に示す素子のユニットが多数直線的に連結されたハイドロフォンリニアアレイとなり、従来のハイドロフォンアレイに比べ、一体成形されているので曲げ、伸度、強度等の機械的特性や比重が均一であるという特徴を有する。そして、そのため例えば引張衝撃に対する耐久性に優れたものとなる。

【0034】本発明のハイドロフォンは、先に図1～図4の実施例についても同様に、上記したような帯状圧電素子50を、上記中心軸Oを与える電気絶縁性の支持体例えばゴム弾性体の棒又は筒に螺旋形状に巻回し、その外表面に絶縁被覆を施した構成をもつこともできる。しかし、帯状圧電素子にかかる応力の残留を防止し、測定感度を向上するためには、一旦、剛性あるいは弾性の棒状体の回りに帯状圧電素子を巻回して螺旋状に賦形した後、該棒状体を取り除き、螺旋状に賦形した帯状圧電素子50を、ウレタンゴム、シリコンゴム、ブチルゴム等からなるエラストマー被覆体11中に埋め込んだ形態とすることが好ましい。かくして、全体としての良好な可撓性と、良好な受波感度を有する図5に示すような円筒棒状のハイドロフォンが得られる。

【0035】一方、被覆体11の外形形状は円柱状であることが好ましいが、他の形状であっても良く、例えば、被覆体11を楕円柱状となし、曲げ応力に方向性を与えることも可能である。また、被覆体11の中心部には信号線、給電線などの電線並びに深度計、方位計などの電気部品や強度部材、充填材といったものを埋設したり、空洞を形成してそれらを配設することもできる。

【0036】帯状圧電素子50は、一般に幅が2～50mm程度、好ましくは5～20mmであり、これを例えば間隔1～20mm（好ましくは間隔/巾 $\leq 1$ ）、巻き数1以上、巻き径8～50mmとして巻き回すことにより、所望の長さを有するハイドロフォンが得られる。

【0037】このようにして得られる個々のハイドロフォン素子を、所望の波長域の音波に適合するように変化

させた間隔で、順次接続することにより、えい航型ソーナーとしての使用に適したハイドロフォンアレイが得られる。

【0038】上記においては、圧電体1が単層または2層の場合を例示してきたが、この圧電体1は、より多数の圧電体を積層した構造とすることもでき、この際、各圧電体層間には中間電極層を介在させてもよい。

【0039】また上記においては、本発明の螺旋状圧電素子を、その好ましい一実施態様であるえい航型ソーナーの受波器について主として説明してきた。しかしながら、本発明の特に帯状圧電素子10を用いた螺旋状圧電素子は、これに限らずパイプ等の円筒状被検査体に対する超音波探傷器や超音波厚み計の探触子として、あるいは、超音波洗浄器のプロブ等の発振（信）素子としても用いることができる。この際には、図1、図4あるいは図5で示したリード線（信号線）8a、8b、8c、81a、81b、82a、82b等は、給電線として用いられることになる。

【0040】なお、円筒状被検査体を検査するための探触子として本発明の螺旋状圧電素子を用いる場合には、被検査体と該圧電素子との間の音響学的接触を良好に保つために、素子の周囲を可撓性のチューブまたはバルーンで密封し、その内部に液体を吸排する手段を設けることが好ましい。

#### 【0041】

##### 【実施例】

##### 実施例1

図1および図2に示した実施態様に従い、ハイドロフォンを製造した。

【0042】まずフッ化ビニリデン（VDF）／トリフルオロエチレン（TrFE）のモル比75／25の共重合体（数平均分子量 $=1.75 \times 10^5$ 、呉羽化学工業（株）製）を、ダイス温度265℃でシート押出し、125℃で13時間の熱処理後、75MV/mの電界下、123℃での保持時間5分、昇降時間を含めて全1時間の分極処理を行ない、厚さ500 $\mu$ mのポリマー圧電体フィルムを得、更にその両面を粒度#60のアルミナ系研磨剤でサンドブラストにより粗面化後、電気溶線式溶射機（加藤メタリコン（株）製、DK式金属溶射機E型）を用いエア圧力5kg/cm<sup>2</sup>、電圧15Vの条件下で溶射を行ない厚さ各約40 $\mu$ mの亜鉛溶射電極2a、2bを形成した。

【0043】次いで上記で得られた図2に示す積層構造を有する圧電素子から、約10mm巾でマシン方向（MD）スリットして帯状圧電素子10を得た。

【0044】この帯状圧電素子10を、直径7mm $\phi$ の真ちゅう棒に巻き付け、テープで巻いて固定後、70℃、1時間の熱処理後室温まで徐冷して、帯状圧電素子への螺旋形くせ付けを行ない、真ちゅう棒を取り外した。このくせ付け工程で用いられる真ちゅう棒は、次の

賦形工程で用いられる真ちゅう棒よりも直径の小さいものが好ましく用いられる。

【0045】続いて、直径10mmの真ちゅう棒に板状のスクリー翼をピッチ15mmで螺旋に取付けた賦形工具を用意し、該工具に上記のくせ付けした螺旋状圧電素子を一定の間隔(約5mm)となるように直ちに巻き付け、室温に10分以上放置して型付けを行なった。かくして、長さ120mmの賦形された螺旋状圧電素子を得、それから上記賦形工具を素子の半分程を残して抜き出し、直径20mmのテフロン製モールド枠中に、治具を用いて軸合わせして挿入後、十分に脱気したポリウレタン樹脂(日本ゼオン(株)製「TYPE3318/2023/DOA=50/40/10」(重量比))をモールド枠の半分程まで流し込み、60℃で6時間の加熱硬化後、治具、モールド枠及び賦形工具を取り外した。そして、螺旋状圧電素子の一端部に端子A、Bに連なるリード線8a、8bを半田7により接合し、再びモールド枠に戻して残りの未被覆部分に上記ポリウレタン樹脂を注型し、同様に硬化させることにより、図1に示すように螺旋状に巻回し賦形された帯状圧電素子10が絶縁被覆体11中に埋め込まれた形態のハイドロフォン(長さ

\*長さ約135mm)が得られた。

【0046】このようにして得られたハイドロフォンについて受波器としての性能を試験するために、前記のスリットされた帯状圧電素子とそれを螺旋形状に賦形しウレタンエラストマーに埋込んだハイドロフォンの静水圧圧電ひずみ定数 $d_h$ を測定し、両者を比較した。

【0047】測定結果を下表1に示す。表から、本発明の圧電素子においては、賦形後においても賦形前の受波感度が維持されることが判る。ここで、静水圧圧電ひずみ定数 $d_h$ は、以下の方法で求めた。

【0048】耐圧容器に入れたシリコン油中に試料を浸漬し、容器に窒素ガス源から圧力P(ニュートン(N)/ $m^2$ )を加えながら試料の電荷量Q(クーロン(C))を測定する。そして、ゲージ圧2Kg/cm<sup>2</sup>近辺での圧力上昇 $dP$ に対する電荷の増加量 $dQ$ を得、下式で計算した。

【0049】 $d_h = (dQ/dP)/A$

単位は、C/Nである。ここで、Aは電極面積( $m^2$ )である。

【0050】

【表1】

	$d_h$ 定数 (pC/N)
帯状圧電素子 (賦形前)	11.7
ハイドロフォン (賦形後)	11.9

【0051】このハイドロフォンは、手で容易に曲げることができ、曲率半径8cm程度で屈曲を数回繰り返した後に、再測定を行ったところ、 $d_h$  定数に変化はなかった。このように本発明の圧電素子は柔軟性に優れていることが判る。

【0052】実施例2

図5および図6に示した実施態様に従い、ハイドロフォンを製造した。

【0053】まず、実施例1と同様にして、厚さ500 $\mu m$ のポリマー圧電体フィルムを得、更にその一面を粗面化した。

【0054】別途、両面を粗面化した厚さ35 $\mu m$ の銅箔の両面に、ポリエステル系接着剤(東洋紡(株)製「バイロン30SS」と日本ポリウレタン(株)製「コロネートL」との99:1(重量比)混合物)を厚さ10 $\mu m$ で塗布後、前記で得られたポリマー圧電体フィルムから切り出した一対の圧電体フィルムを、それらの分極特性が互いに逆向きとなるように貼付し、50℃、20kg/cm<sup>2</sup>の条件で接着剤を硬化させて、図6の表面電極2a、2bを除く1a/4a/3/4b/1bの積層体を得た。

【0055】次いで、上記で得た積層体の両表面を粒度#60のアルミナ系研磨材でサンドブラストにより粗面

※化後、電気溶線式溶射機(加藤メタリコン(株)製、DK式金属溶射機E型)を用いエア圧力5kg/cm<sup>2</sup>、電圧15Vの条件で溶射を行ない厚さ約40 $\mu m$ の亜鉛溶射電極2a、2bを形成した。

【0056】次いで上記で得られた図6に示す積層構造を有する圧電素子から、約10mm巾でマシン方向(MD)にスリットして帯状圧電素子50を得た。

【0057】この帯状圧電素子50について、実施例1と同様のくせ付けおよび型付けをして、長さ120mmの賦形された螺旋状圧電素子50を得、その後、更に実施例1と同様にポリウレタン中に埋込成形して、図5に示すように螺旋状に巻回し賦形された帯状圧電素子50がウレタンエラストマー被覆体11中に埋め込まれた形態のハイドロフォン(長さ約135mm)が得られた。

【0058】このようにして得られたハイドロフォンの電極取り出し部(図5の右端)を手でもって振り子状に振った時の端子A-B間および端子AC-B間(図6に示すようにAC間を短絡)における出力をデジタルオシロスコープ(DL-2240型、横河電気(株))により測定した。出力波形のオシログラフチャートを、それぞれ図7(端子A-B間)および図8(端子AC-B間)に示す。図で縦軸は出力(20mV/div.)、横軸は時間(0.5sec/div.)である。

11

【0059】図7と図8との比較から明らかなように、本発明の構造に従う端子A-C間出力（図8）においては、ハイドロフォンの伸縮による変形ノイズが効果的に相殺されていることがわかる。

【0060】また、前記のスリットされた帯状圧電素子と、それを螺旋形状に賦形しウレタンエラストマーに埋\*

12

\* 込したハイドロフォンの静水圧電ひずみ定数 $d_h$ を実施例1と同様にして測定し、両者を比較した。測定結果を下表2に示す。表から、実施例1と同様に、賦形後においても賦形前の受波感度が維持されている。

【0061】

【表2】

	$d_h$ 定数 (pC/N)	
	表層 (A-B間)	内層 (B-C間)
帯状圧電素子 (賦形前)	10.7	10.6
ハイドロフォン (賦形後)	11.0	10.9

【0062】続いて、ハイドロフォンを治具により曲率半径10cmに固定して同様な測定を行ったところ、 $d_h$  定数に変化はなかった。

【0063】

【発明の効果】上述したように、本発明によれば、可撓性の帯状圧電体を螺旋状に捲回した構造とすることにより、円筒状圧電素子に比べて著しく改善された柔軟性ならびに耐衝撃性を有し、音波の送受信素子として好適な圧電素子が提供される。

【0064】また、一対の帯状ポリマー圧電体の逆側貼り合わせ構造を有する帯状圧電素子と、該帯状圧電素子の螺旋状巻回し構造の採用により、全体としての可撓性を維持しつつ、機械的応力の印加による雑音発生を防止し且つ受波感度の良好なハイドロフォンが提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の圧電素子の一実施態様にかかるハイドロフォンの概ね正面から見た一部切欠き斜視図。

【図2】図1の切欠き面I-Iに沿って取った帯状圧電素子の厚さ方向模式断面図。

【図3】図2に対応する絶縁被覆層を有する帯状圧電素子の厚さ方向模式断面図。

【図4】本発明の圧電素子の他の実施態様にかかる連結素子構造を有するハイドロフォンの概ね正面から見た斜視図。

【図5】本発明のハイドロフォンの一実施態様の概ね正面から見た一部切欠き斜視図。

※【図6】図5の切欠き面V-Vに沿って取った帯状圧電素子の厚さ方向模式断面図。

【図7】比較例（A-B間出力取出構造）によるポリマー圧電素子を使用したハイドロフォンにおける機械的変形によるノイズ発生状況を示すオシログラフチャート。

【図8】実施例（A-C間出力取出構造）によるポリマー圧電素子を使用したハイドロフォンにおける機械的変形によるノイズ発生状況を示すオシログラフチャート。

【符号の説明】

1、1a、1b：帯状ポリマー圧電体、

2a、2b：表面電極層、

3：中央電極層、

4a、4b：接着剤層、

5a、5b：絶縁被覆層、

6：電圧出力検出手段、

7：半田、

8a、8b、8c、81a、81b、82a、82b：

リード線、

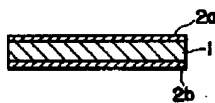
10、10a、10b、50：螺旋状に巻き回した帯状圧電素子、

11：被覆体、

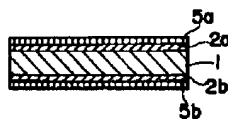
O：中心軸、

A、B、A1、B1、A2、B2：端子。

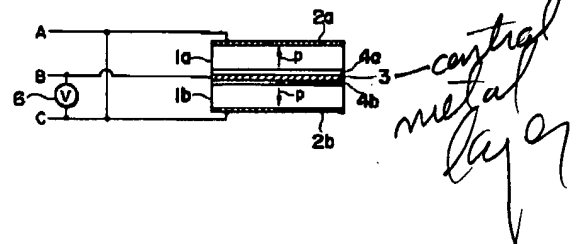
【図2】



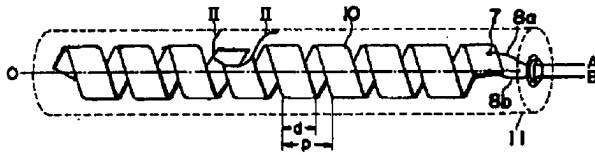
【図3】



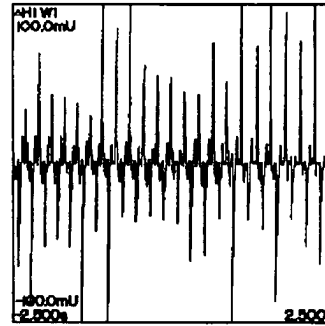
【図6】



【図1】

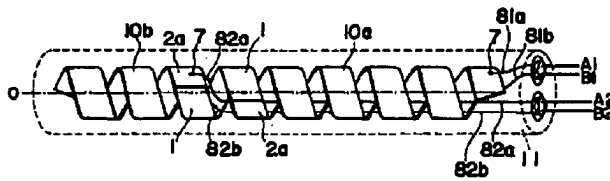


【図7】

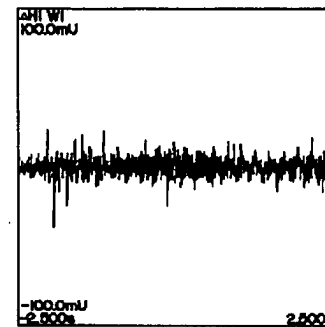


A - B 間

【図4】



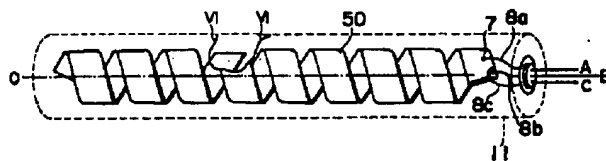
【図8】



AC - B 間



【図5】



---

フロントページの続き

(72)発明者 吉武 宣之  
東京都中野区江原町1-34-5  
(72)発明者 佐藤 卓  
福島県いわき市錦町原田183-1

(72)発明者 鈴木 和元  
福島県いわき市植田町本町1-9-3  
(72)発明者 中村 謙一  
福島県いわき市勿来町四沢作田4の32